

東大ホームカミングデイ2021

文明システムズ・地球環境・プロジェクト研究会によるイベント

**「持続可能な太陽熱と海洋深層水によるCO₂排出削減と
新産業創出・地方創生」**

10月16日(土)

15:00～15:30 「太陽熱水発電の必然性・可能性」角田晋也

15:30～15:45 質疑応答

15:45～16:15 「低温スターリングエンジンの開発」迹目英正

16:15～16:30 質疑応答

16:30～17:00 総合討論

天の時:脱炭素&太陽電池ウイグル人権問題

地の利:日本海溝&日射量

人の和:ビジネスエコシステムを形成しましょう

後援:日本マクロエンジニアリング学会、
NPOマクロエンジニアリング研究機構

開会の挨拶

- 自己紹介:気候変動関連財務情報、情報通信分野、及び行政の専門性を有する者
データ流通など
- 団体キャッチフレーズ:
「持続可能な未来を創造するマクロエンジニアリング」
- スピーカーと連絡を取りたい方もしくは当団体からのメルマガ配信に興味のある方は事務局info@jame-society.jp までご連絡ください
- 新型コロナや米中対立などで世界は分断
→各国はエネルギーなどの自給率を高める方向
- SDGsで再生可能エネルギー投資が加速されている
Sustainable Development Goals

ポストコロナのグローバルな構造変化

- ・利益至上主義からSDGsを中心に据えた資本主義へ転換
- ・格差拡大で、反グローバリズム&ナショナリズムが台頭
米中対立が激化
グローバル・サプライチェーンの再構築が不可避
- ・各国政府は財政収支が軒並み悪化し、財政政策と金融政策は融合へ
- ・リモート社会(非接触型社会)到来
- ・中央集権型から分散型ネットワークの時代へ。**地方**に脚光

地球を熱機関として見ると

- 熱源は太陽がほとんど(地熱も0.025%)
- 熱の一部が風や海流などの仕事に変換されている
- 結局は地球外に放熱される(放射70%、反射30%)
- 放射のうち1/3は、水(海水を含む)の蒸発に伴う潜熱として上昇後に大気や雲を經由しての放射
- 人為的排熱を如何に宇宙に捨てるかが課題(反射か、それとも放射か)
- エネルギー利用では、エクセルギー損失(≡排熱)を如何に削減するかが課題

熱を仕事に変換する際の、有効に仕事に変換できる部分

東大ホームカミングデイ2021

文明システムズ・地球環境・プロジェクト研究会

イベント「持続可能な太陽エネルギーと海洋深層水の利用(発電他)」
の最初のプレゼン

15:00~15:30

太陽熱水発電の必然性・可能性

目次

特徴

方式

発電概念図

高温側熱源としての太陽熱

低温側熱源としての海洋深層水

適地&産業振興

低温側熱源として深層水を使用した後

日本マクロエンジニアリング学会

理事長

兼

プロジェクト研究会代表

角田 晋也

特徴

- 再生可能エネルギー(地球の熱循環を乱さない)
- **エクセルギー**損失が少ない(熱漏れが少ないのが特徴)
熱を仕事に変換する際の、有効に仕事に変換できる部分
- 甚大な事故が起こらない(安全で、周辺住民も安心)
- **蓄熱池**により天候に左右されにくい(風力や**太陽光**より)
- 老朽施設・設備の有害廃棄物問題がない(**太陽光**より)
- 低温側熱源(海洋深層水取水管)のスケールメリットは大
- 高温側熱源(太陽熱集熱器)は分散型が可能(所要面積は太陽光発電と同程度)
- 海洋深層水は低温側熱源として利用後もカスケード利用が可能(冷房→養殖、レクリエーション、製塩他)
→取水コスト削減→新産業創出・地方創生(釧路、館山、相模・駿河湾、紀伊半島、室戸、南西諸島、ペルー他)

将来が見通しにくいVUCA時代の 経営戦略アプローチ

- Volatility 変動
- Uncertainty 不確実
- Complexity 複雑
- Ambiguity 曖昧
- 予測できる範囲で事業を計画・展開するのか？ それとも、僅かな兆しを捉えて(取引先の業界や行政も巻き込み)規制を変更するのか？
- 短期的に予測できるのはCO₂排出削減需要
- (長期的に人口減:少子高齢化)
- 発電や養殖は既存の市場規模が売上目標の目安となる
- 当初は既存の諸規制に反しない範囲で事業展開するが、土木工事を要する社会インフラなので、いずれ規制の整備が必要になる→**エコシステムを形成しましょう!**

方式:温度差発電

- 高温側熱源 T_H :太陽熱で真水を95°Cに加熱
- 低温側熱源 T_L :海洋深層水5°C(水深約千m)

地上環境との温度差が小さい
ので輸送の際の断熱が容易

T_H を高くした
ほうが高効率
だが、熱漏れ
も大きくなる

- この場合、カルノーサイクルの理論熱効率 = $1 - T_L/T_H = 0.25$
- 実際には熱漏れや摩擦などのエネルギー損失があるので発電効率12%程度(石炭火力の発電コスト相当)の実現を目指す→従来のスターリングエンジンよりも、a)環境との温度差が小さい故、熱伝導ロスや熱橋ロスが小さく、加えて、b)ピストンの運動による摩擦ロスも劇的に小さくなるよう工夫する
- 海洋深層水を海面まで揚水する際の位置エネルギーは、取水管内の乱流摩擦エネルギーに比べれば無視できる(揚水のエネルギーロス は 取水管の壁面抵抗がほとんど)

90°C程度の温度差でスターリングエンジンを実用化する上での課題と解決策

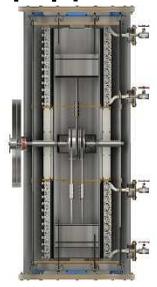
課題	解決策	説明
冷却(低温側)熱源の確保	千m深程度の 海洋深層水 を汲上げる	従来は、低温側熱源は環境温度としていて、低温側熱源を調達するという発想はなかった。
熱源と作動気体の温度を近づける	熱交換器の(伝熱面積の)大型化	必然的にエンジンも大型化するが、大型化に伴う 摩擦ロス および圧力損失を減らすため回転数が低くなる。
熱交換器の高性能化	素材としては アルミ	熱伝導とコストを考慮した。
作動ガスの種類の選定	圧縮 空気 (実験5気圧, 普及機約50気圧)を選定	コストと「密度×比熱、維持管理」を考慮した。
作動ガスの圧カレベルへの対応	発電機ごと圧力容器に内蔵し, 外部シールをなくすことで高出力化を図る	左を「ハーメティック化」と呼ぶ。

首都圏近傍の場合、取水管延長は約10km(館山や横須賀等が適地)

1MW発電概念図

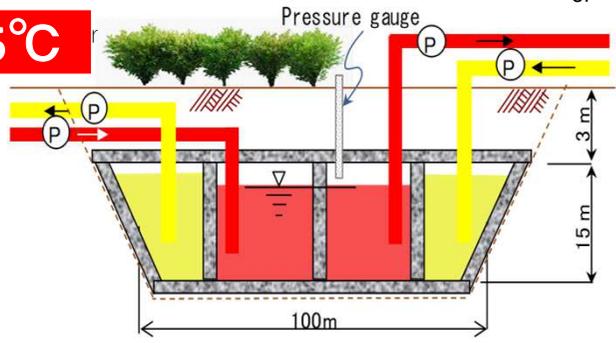
各戸に一台というように分散設置も可能

発電器本体 × 百器

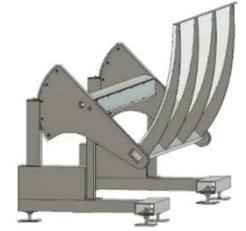


貯熱池(淡水は循環して再利用)

淡水95°C

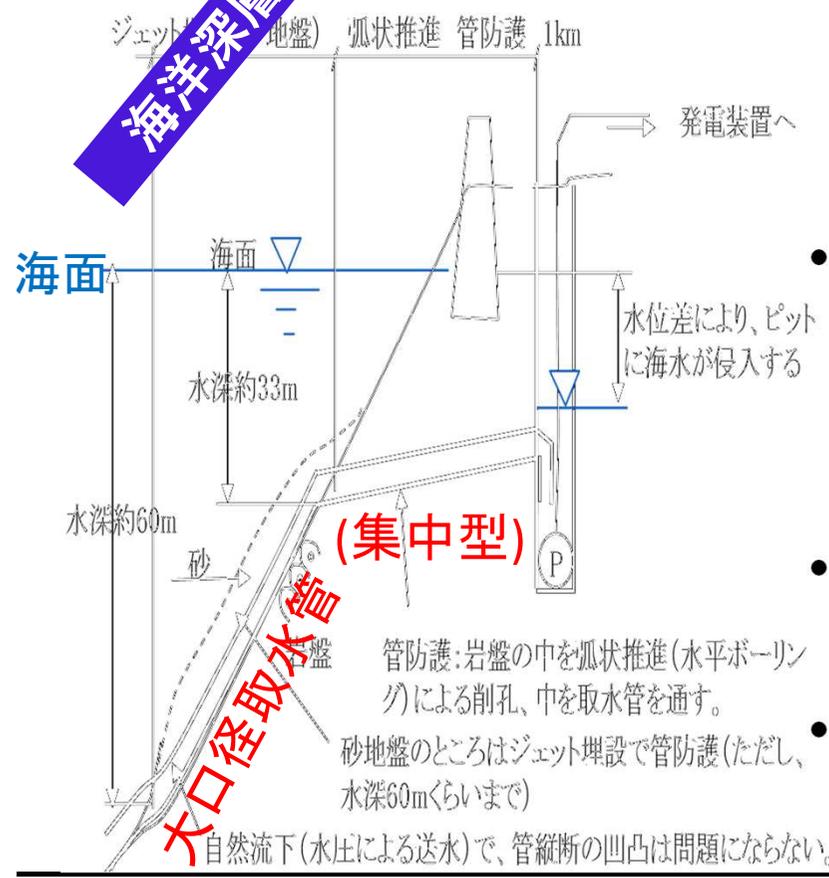


太陽熱集熱器



3日間貯熱できる

発電で賄う



- 送水管は**大口径**が圧力損失(単位体積の流体が配管などを通過する際に失うエネルギー量)が小さい→管径の約2.5乗に反比例
- 取水管設置工事の初期投資額が大きい(地上の配管工事の百倍程度高価)
- 300m以深では生物付着もほとんどない(清浄=**掃除不要**)

高温側熱源としての太陽熱集熱

- 太陽光を集光して淡水を95°Cまで加熱し、高温側熱源として**循環**利用する(冷めたら、また加熱する)
- **貯水池**(貯熱池)を設けることにより、72時間直射日光がない天候が続いても、熱源を確保する(**72時間後の水温低下は0.3°Cと小さい**)→太陽光発電や風力発電と異なり**天候に発電が左右されない**(**実用的な蓄電{蓄熱}が可能**)
- 太陽熱集熱装置は経済的なスケールメリットが**比較的**小さいので、例えば、各戸に一台設置してもよい→ある程度の分散型発電システムが可能(実は**太陽熱、地熱、あるいは排熱**など、高温側熱源の種類や量を選ばない)

低温側熱源としての海洋深層水

冬の気温程度

- 95°Cの真水よりも5°Cの海洋深層水の方が地表環境との温度差が小さいので熱輸送に適している
(地温は地下50mで15°Cと年間を通じ一定)
- 海洋深層水取水基地から各戸までは熱損失やエネルギー損失を抑えるように送水管を設計できる→地面下設置、遠距離送水は大口徑で等
(とはいえ電力輸送の方が熱輸送よりも省エネ&省コスト)

高温側vs低温側熱源の特徴対比

	高温側	低温側
熱媒体	淡水	海洋深層水
水温	95°C	5°C
循環利用	○(冷めたら沸かす)	×(使用後はカスケード利用)
天候依存	蓄熱(水)池で3日間問題なし	なし
流量	数倍小さい	数倍大きい
地表環境との温度差	大きい	小さい
地表付近での熱輸送	相対的に不利	相対的に有利
集中vs.分散	分散型も可能(取水基地から半径km程度)	集中型(長さ約10km; 大口径取水管にスケールメリット)

太陽熱・海洋深層水温度差発電の適地

高温側熱源・・・日射量(緯度のみならず、気候にもよる。赤道付近が恵まれるが日本でも可能)

低温側熱源・・・沿岸の海底地形(日本の太平洋側では日本海溝が海岸から近い)←このような海底地形は世界的に限られる!

特に館山や横須賀は海岸から10km程度の取水管で千m深の海洋深層水に到達

他にも釧路、駿河湾、紀伊半島、室戸、種子島、南西諸島等で産業振興

気象に依存しない電力の産業活用

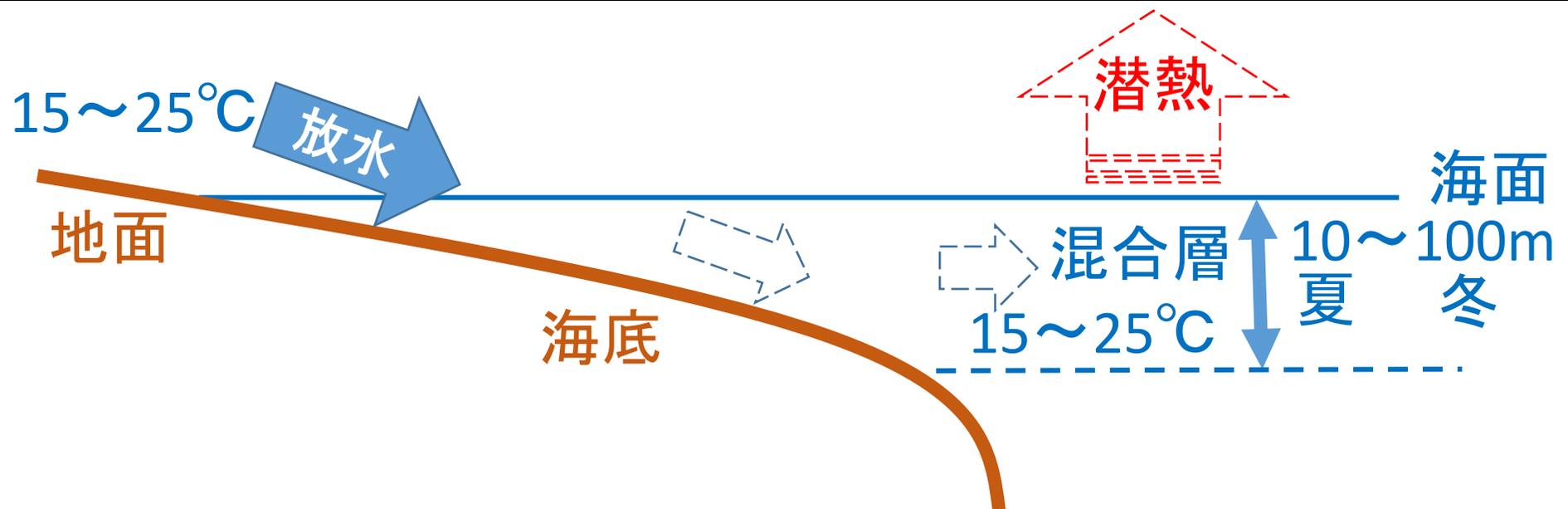
- 水素製造
- 蓄電池製造
- 暗号通貨マイニング
- データセンターは太平洋側の地震・津波リスクを考慮すると不適

使用後の海洋深層水

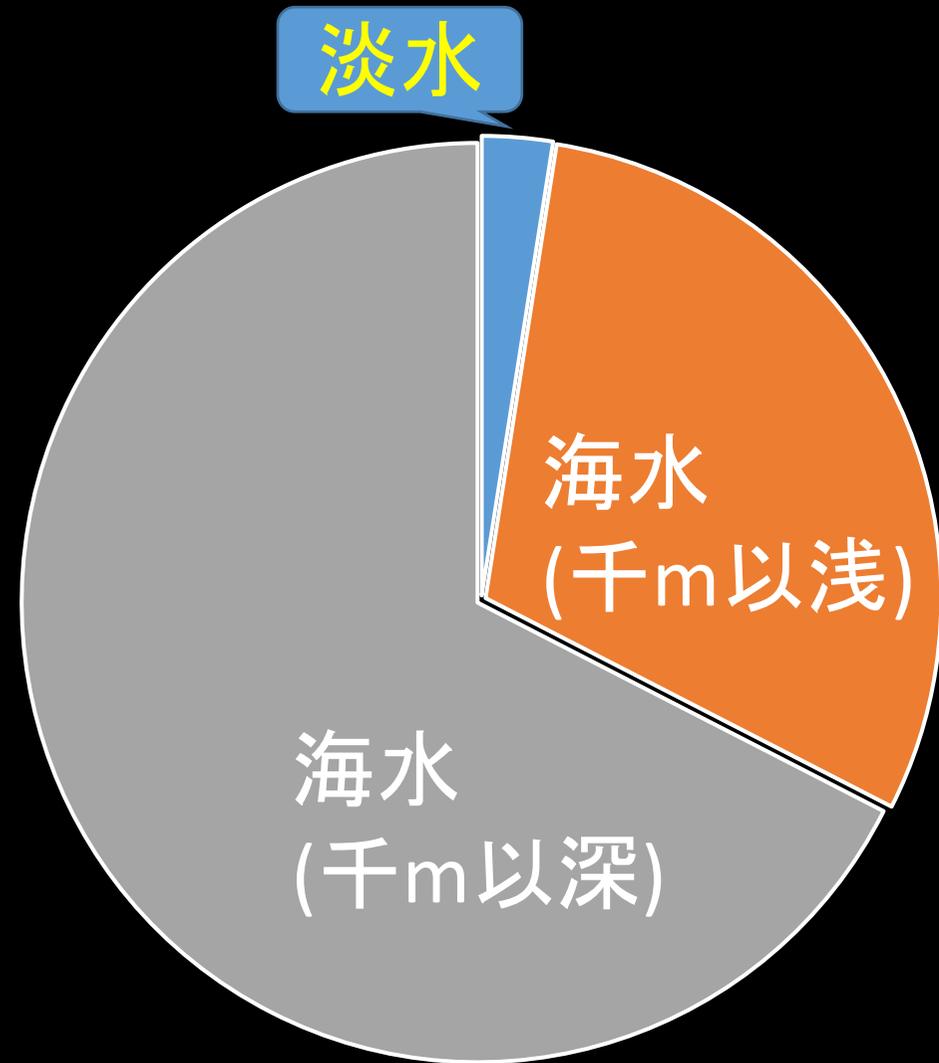
- 冷房(屋内、農地)→養殖(藻類、魚介類)、レクリエーションなどにカスケード利用
- 一部は製塩等、食品・化学工業原料に
- 利用後の海洋深層水のほとんどは沿岸に放水

使用後の深層水の排熱は何処へ

- 太平洋沖合では、海面～100m深まで混合層(ほぼ一様)
- 100m以深の海水は深いほど冷たく高密度
- 使用後の海洋深層水は、河川水で希釈された沿岸の海面水よりも、密度が高い(ので海面水の下に潜り込む)が、取水時よりも熱膨張しているので海面～100m深に拡散→沖合で潜熱として水蒸気とともに圏界面まで上昇→**地球外へ放熱**



海洋深層水の持続可能な利用上限



地表の海水・淡水の量

海洋深層水の**流量**の変動(標準偏差)は平均流量の3%程度で、北太平洋では $3 \times 10^5 \text{m}^3/\text{s}$ と見積もられる。(大塚耕司, “海洋深層水の使用可能量に関する一考察,” Deep Ocean Water Research, 18(3), 159-160, 2017)

仮に、東京湾岸の電力需要を賄うとしても、必要な海洋深層水の流量は荒川の**流量** ($30 \text{m}^3/\text{s}$)程度

15:45まで質疑応答

- 質問はございませんか?
- スピーカーと連絡を取りたい方もしくは当団体からのメルマガ配信に興味のある方は事務局 info@jame-society.jp まで、ご連絡ください
- 15:45以降は辻目英正より「低温スターリングエンジンの開発」についての説明となります